

pISSN 2073-039X
eISSN 2311-8725

Комплексный экономико-социально-экологический анализ

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА УРОВЕНЬ ВЫБРОСОВ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА*

Ирина Викторовна ФИЛИМОНОВА^{а,*},

Ирина Викторовна ПРОВОРНАЯ^б,

Валерия Геннадьевна ЛЕОНТЬЕВА^с

^а доктор экономических наук, профессор, заведующая лабораторией
Центра экономики недропользования нефти и газа,
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН),
Новосибирск, Российская Федерация
filimonova@list.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4447-6425>
SPIN-код: 6063-8272

^б кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник
Центра экономики недропользования нефти и газа,
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука
Сибирского отделения Российской академии наук (ИНГГ СО РАН),
Новосибирск, Российская Федерация
provornayaiv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6581-2921>
SPIN-код: 5910-0357

^с студентка магистратуры механико-математического факультета,
Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ),
Новосибирск, Российская Федерация
v.leonteva@g.nsu.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: отсутствует

* Ответственный автор

История статьи:

Рег. № 355/2023
Получена 31.07.2023
Получена в
доработанном виде
15.08.2023
Одобрена 30.08.2023
Доступна онлайн
30.10.2023

Специальность: 5.2.3

УДК 339.976.2

JEL: C23, O13, Q52

Аннотация

Предмет. Изменение климата волнует не только экологов, борющихся за сохранение ледников и биоразнообразия на планете, но и экономистов, так как социальное развитие – одно из составляющих экономического развития всего общества. Весьма целесообразно проведение комплексного анализа воздействия различных факторов на климатическую политику страны и ее действия по сокращению выбросов диоксида углерода.

Цели. Оценка влияния различных факторов на уровень выбросов CO₂.

Методология. Проведен регрессионный анализ, основанный на панельных данных. С помощью корреляционного анализа были отобраны факторы, по данным которых были построены три модели регрессии. После проведения статистических тестов (тесты Вальда, Бройша – Пагана и Хаусмана) было отдано предпочтение модели с фиксированными эффектами. Такая модель хорошо подходит, поскольку был рассмотрен конкретный набор из 79 стран, имеющих ненулевые выбросы углекислого газа в определенный период времени. Статистическая база данных была построена на данных с 1965 по 2021 г.

* Статья подготовлена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 22-18-00424.

Ключевые слова:
выбросы углекислого
газа, факторы,
панельные данные,
страны мира

Результаты. Согласно построенной модели, оказалось, что наибольший вклад в объем выбросов углекислого газа вносит именно потребление ресурсов. Также значимыми факторами, влияющими на уровень выбросов углекислого газа, являются ВВП и численность населения.

Выводы. Полученные результаты могут помочь в разработке более эффективных стратегий для снижения выбросов, борьбы с изменением климата, повышения энергетической эффективности компаний.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2023

Для цитирования: Филимонова И.В., Проворная И.В., Леонтьева В.Г. Оценка факторов, влияющих на уровень выбросов углекислого газа // *Экономический анализ: теория и практика*. – 2023. – Т. 22, № 10. – С. 1888 – 1905.
<https://doi.org/10.24891/ea.22.10.1888>

Изменение климата представляет собой глобальную проблему, выходящую за пределы национальных границ. Она требует принятия скоординированных решений на всех уровнях и осуществления международного сотрудничества, чтобы помочь странам перейти к низкоуглеродной экономике. Для предотвращения негативных последствий изменения климата в 2015 г. было подписано Парижское соглашение, входящее в Рамочную конвенцию ООН об изменении климата, регулирующее меры по снижению содержания углекислого газа в атмосфере с 2020 г. Также странами – членами ООН были подписаны соглашения о сокращении объема выбросов углекислого газа в два раза. Правительством Российской Федерации было принято распоряжение от 29.10.2021 № 3052-р «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года».

Прогрессирующее повышение температуры на планете, а также угроза глобального потепления и таяния ледников привели к развитию международных планов по сокращению негативного воздействия человека на природу. С одной стороны, использование традиционного сырья является наиболее привлекательным вариантом получения вторичной энергии. С другой стороны, наблюдается негативное воздействие на экологию во время добычи ресурсов, их транспортировки и потребления. При своевременной перестройке экономики в сторону углеродной нейтральности негативное антропогенное воздействие можно будет ослабить. Целесообразно провести комплексный анализ воздействия различных факторов на климатическую политику страны.

Одним из ключевых вопросов эконометрического анализа является измерение и изучение влияния различных факторов на значение результативного показателя. Методикой решения этого вопроса является факторный анализ. Самым подходящим для данного исследования является динамический анализ, так как он позволяет исследовать влияние факторов на результативный показатель в динамике¹. Это

¹ Бальжинов А.В., Михеева Е.В. Ключевые параметры анализа и диагностики бизнес-процессов на предприятиях электроэнергетики // *Экономика, управление и образование: материалы национальной научно-*

наиболее эффективный способ исследования выбросов углекислого газа. Метод исследования панельных данных является одним из основных методов динамического анализа многофакторных моделей².

Использование панельных данных широко распространено в экономически развитых и развивающихся странах. Соединенные Штаты Америки стали первой страной, начавшей сбор панельных данных в 1960-х гг.

Набор включает в себя различные данные нескольких групп, составляющих класс работоспособного населения. Примером базы панельных данных является также PSID (Panel Study of Income Dynamics) университета Мичигана, созданная в 1968 г.

Первые панельные данные в Европе появились только в 1984 г. в Немецком институте экономических исследований (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, DIW). Данные немецкой социально-экономической комиссии (GSOEP) включали 5 921 домохозяйств в Западной Германии и содержали такие данные, как заработная плата, политическая вовлеченность, пособия, демография и т.д. Японский панельный опрос потребителей (JPSC), проведенный в 1994 г. Институтом исследований экономики домашних хозяйств, включал данные о 1 500 женщинах от 24 до 34 лет: поведение на рынке труда, доход, активы, жилье и другие параметры.

В России исследования на основе панельных данных стали проводиться только в 1990-х гг. Российское лонгитюдное мониторинговое исследование (RLMS – РМЭЗ) является одним из наиболее известных примеров панельных данных в России.

Использование панельных данных для построения моделей набирает популярность как в России, так и за рубежом. Модели, построенные с помощью панельных данных, являются более эффективными, чем модели, основанные только на пространственных данных или временных рядах [1–3].

Первым этапом построения модели является отбор факторов, оказывающих влияние на зависимую переменную – количество выбросов углекислого газа. Для факторов, включенных в модель, можно выделить несколько основных требований:

- независимые переменные должны коррелировать с зависимой;
- факторы не должны коррелировать друг с другом;
- качественные переменные должны отсутствовать, а факторы должны быть количественными.

практической конференции. Улан-Удэ: Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, 2018. С. 21–23.

² Deaton A. Data and Econometric Tools for Development Analysis. In: Handbook of Development Economics. 1995, vol. 3, part A, pp. 1785–1882.

Для отбора факторов, которые будут включены в модель, очень важным критерием является их независимость. Для исключения из модели зависимых переменных используется корреляционный анализ:

- необходимо найти парные коэффициенты корреляции между всеми переменными;
- необходимо исключить факторы, имеющие наименьшие коэффициенты корреляции с зависимой переменной;
- два фактора могут быть коллинеарны (связаны линейно), и при отборе нужно оставить только один из двух;
- в случае наличия высокой корреляции между несколькими объясняющими переменными возникает проблема мультиколлинеарности.

Стандартной моделью регрессии является модель сквозной регрессии, чье уравнение в покомпонентной форме выглядит следующим образом:

$$y_{it} = X_{it}^{\tau} b + a + \varepsilon_{it}, \quad i = 1, \dots, n, \quad t = 1, \dots, k, \quad (1)$$

где X_{it}^{τ} – транспонированный вектор значений регрессоров;

a и вектор-столбец b – коэффициенты регрессии, одинаковые для всех наблюдений ε_{it} нормально распределены;

i – индекс объекта;

t – индекс момента времени.

Данная модель – самая простая из возможных, она предписывает всем объектам одинаковое поведение во все моменты времени и не учитывает их индивидуальных характеристик. При выполнении предположений об отсутствии корреляции между переменными и ошибками параметры модели можно состоятельно оценить с помощью метода наименьших квадратов.

Второй моделью, рассматриваемой в данном исследовании, является модель с фиксированными эффектами. Она имеет следующую форму записи:

$$y_{it} = X_{it}^{\tau} b + a_i + \varepsilon_{it}, \quad i = 1, \dots, n, \quad t = 1, \dots, k. \quad (2)$$

Предположения соответствуют случаю модели сквозной регрессии, кроме члена a_i . В этом случае для разных объектов коэффициент принимает разные значения, описывает индивидуальные характеристики объектов и отражает влияние ненаблюдаемых переменных, не меняющихся со временем. Эта модель является более гибкой, чем предыдущая, так как она может учитывать индивидуальные особенности объектов.

Однако из-за оценивания n параметров происходит увеличение стандартных ошибок оценок, из-за чего происходит потеря их значимости. Это затруднение решается с помощью модели со случайными эффектами:

$$y_{it} = X_{it}^T b + a_i + \varepsilon_{it}, \quad i = 1, \dots, n, \quad t = 1, \dots, k. \quad (3)$$

Несмотря на то, что уравнение выглядит аналогично модели с фиксированными эффектами, оно все же некоторым образом от нее отличается. Теперь a_i носят случайный характер, но все равно отражают индивидуальные характеристики объектов и влияние переменных, не включаемых в модель. Кроме того, этот коэффициент теперь состоит из суммы двух слагаемых: $a_i = \mu + u_i$, где u_i – ошибки, некоррелированные с ε_{it} ; μ – константа, общая для всех объектов во все моменты времени.

Модель со случайными эффектами позволяет получать более значимые оценки, чем модель с фиксированными эффектами при большом количестве объектов и является менее ограничительной, чем модель сквозной регрессии.

Далее необходимо определить, какую модель следует выбрать для дальнейшего исследования. Использование модели сквозной регрессии предполагает отсутствие индивидуальных эффектов и такое предположение подходит к некоторым простым случаям. Модель с фиксированными эффектами предполагает, что каждый объект уникален и его нельзя рассматривать как результат случайного выбора из генеральной совокупности.

Так как результаты моделей являются разными, необходимо выбрать более адекватную для наших данных. Для этого проводятся статистические тесты.

Тест Вальда (сравнение модели сквозной регрессии и модели с фиксированными эффектами). Тест проверяет гипотезу равенства нулю всех индивидуальных эффектов в модели с фиксированными эффектами:

$$H_0 = \{a_i = 0\}; \quad H_1 = \{a_i \neq 0\}. \quad (4)$$

При выполнении теста рассчитывается статистика

$$W = \frac{(\hat{\beta} - \beta_0)^2}{D(\hat{\beta})}, \quad (5)$$

где $\hat{\beta}$ – полученная оценка ММП;

β_0 – предполагаемое значение параметра;

$D(\hat{\beta})$ – дисперсия оценки.

Основная гипотеза отвергается и предпочтение отдается модели с фиксированными эффектами в том случае, если значение статистики больше квантиля принятого уровня значимости.

Тест Бройша – Пагана (сравнение модели сквозной регрессии и модели со случайными эффектами). Тест проверяет гипотезу о наличии случайных эффектов:

$$H_0 = \{Var(u) = 0\}; H_1 = \{Var(u) \neq 0\}. \quad (6)$$

При верной основной гипотезе $\sigma_u^2 = 0$ и

$$\frac{\hat{\sigma}_B^2}{\hat{\sigma}_W^2} \sim F(n-1, nk-n-m), \quad (7)$$

где $\hat{\sigma}_B^2, \hat{\sigma}_W^2$ – оценки дисперсии ошибки в моделях регрессии. Если квантиль принятого уровня значимости меньше полученной статистики, то основная гипотеза отвергается и предпочтение отдается модели со случайными эффектами.

Тест Хаусмана (сравнение модели со случайными и модели с фиксированными эффектами). Тест проверяет пару гипотез:

$$H_0 = \{Cov(a_i, X_{it}) = 0\}; H_1 = \{Cov(a_i, X_{it}) \neq 0\}. \quad (8)$$

В первом случае a_i рассматриваются как случайные эффекты, во втором – как фиксированные. Тест основан на сравнении оценок параметров каждой модели и его смысл состоит в том, что при верной альтернативной гипотезе оценки будут существенно различаться.

Рассчитывается статистика:

$$\xi = \left(\hat{b}_{FE} - \hat{b}_{RE} \right)' \left(\hat{V}(\hat{b}_{FE}) - \hat{V}(\hat{b}_{RE}) \right)^{-1} \left(\hat{b}_{FE} - \hat{b}_{RE} \right), \quad (9)$$

где $\hat{V}(\hat{b}_{FE}), \hat{V}(\hat{b}_{RE})$ – оценки соответствующих ковариационных матриц для параметров моделей. Если квантиль принятого уровня значимости меньше полученной статистики, то основная гипотеза отвергается и предпочтение отдается модели с фиксированными эффектами.

Качество модели в общем случае определяется коэффициентом детерминации R^2 .

Наблюдается ежегодный рост выбросов углекислого газа в атмосферу (рис. 1). Изменение климата и парниковый эффект являются актуальными проблемами современности. Для снижения отрицательного воздействия этих процессов на жизнь человечества во многих странах для ограничения роста температуры

внедряются меры по снижению выбросов диоксида углерода, перехода к низкоуглеродной экономике.

Одной из целей Парижского соглашения является изменение траектории финансовых потоков в сторону низкоуглеродной экономики. В 2021 г. прошло очередное заседание конференции сторон Рамочной конвенции, в результате которой 40 стран (кроме России, США и Австралии) обязались отказаться от угольной энергетики до 2040 г. Кроме того, в 2019 г. об обязательствах по достижению углеродной нейтральности заявляли только 17 стран, в 2021 г. – 152.

В пятерку стран – лидеров по количеству выбросов CO₂ в 2021 г. входят Китай (31%), США (13%), Индия (7,5%), Россия (4,6%), Япония (3,1%) (рис. 2).

«Газпром» стал одной из первых компаний, начавших отчитываться о деятельности по охране окружающей среды. В 2001 г. компания опубликовала первый отчет о деятельности в области устойчивого развития. В нем охране окружающей среды посвящен специальный раздел. В экологическом отчете компании за 2021 г. указано, что выбросы загрязняющих веществ составили 2 506,31 тыс. т, что на 12% меньше соответствующего показателя за 2019 г. [4].

«Северсталь» – крупнейший производитель в отрасли черной металлургии – в своем отчете о корпоративной социальной ответственности и устойчивости развития указывает, что в 2019 г. суммарный выброс загрязняющих веществ на предприятиях компании снизился на 5,1% по сравнению с 2018 г. [5].

Рассматриваемыми объектами являются 79 развитых и развивающихся стран, имеющих ненулевые выбросы в 1965–2021 гг. Зависимой (объясняемой) переменной является количество выбросов CO₂. Этот показатель является количественным представлением одного из основных парниковых газов – диоксида углерода.

На выбросы углекислого газа могут влиять разные факторы (табл. 1) [6–8]. В связи с этим необходимо рассмотреть не только различные отраслевые факторы, оказывающие наибольшее влияние на выбросы, такие как потребление угля или металлургия, но и, например, экономические, такие как ВВП или численность населения, так как при росте экономики и населения происходит улучшение качества жизни, что ведет к увеличению выбросов. Также важным фактором является потребление возобновляемой энергии, поскольку переход к альтернативной энергетике позволяет снизить уровень выбросов.

В исследовании факторы были сгруппированы по трем группам: экономические, энергетические, отраслевые. С помощью анализа коэффициентов корреляции между зависимой переменной и регрессорами выявляются факторы, которые оказывают наименьшее влияние на зависимую переменную. Такие факторы, как «сельскохозяйственные угодья», «ВВП по ППС на душу населения в долларах в

2017 г.», «ВВП на душу населения» оказались плохо коррелированы с количеством выбросов CO₂. Коэффициент корреляции стремится к нулю, поэтому эти факторы исключены из модели.

Далее была рассмотрена матрица парных коэффициентов корреляции оставшихся переменных (металлический индекс, численность населения, потребление возобновляемой энергии, добыча угля, потребление угля, ВВП страны, выработка электроэнергии, потребление нефти, добыча нефти) для 1995, 2008, 2015 гг. Для выявления мультиколлинеарности между факторами и ее устранения необходимо исследовать определитель матрицы парных коэффициентов корреляции и отношение собственных чисел. Для проведения этой процедуры наиболее эффективно была написана программа на языке Python, которая проверяет всевозможные комбинации, включающие от трех до девяти факторов.

Далее происходит расчет коэффициентов корреляции, определителей матрицы, отношения собственных чисел матрицы $A^T A$, после чего эти данные заносятся в сводную таблицу. После этого отбираются комбинации, в которых определитель матрицы больше 0,7 в 50% случаев, и программа выводит их. В результате было выявлено две подходящих комбинации. Комбинация 33 (численность населения, потребление возобновляемой энергии и добыча нефти) имеет определитель больше 0,7 в 74% случаев. Комбинация 45 (численность населения, ВВП и добыча нефти) имеет определитель больше 0,7 в 64% случаев. При этом у обеих комбинаций отношение $\lambda_{\max} / \lambda_{\min} < 1\ 000$. Для дальнейшего исследования лучше подходит комбинация 45, так как фактор «ВВП» более значим и характеризует производство внутри страны и ее экономический рост. После выполнения первого шага построения регрессионной модели получены следующие промежуточные результаты:

- в регрессионную модель вошли следующие факторы: ВВП, численность населения, добыча нефти;
- объясняющие переменные коррелируют с объясняемой переменной;
- уровень мультиколлинеарности является допустимым.

Для построения модели использовался пакет для решения статистических задач STATA v.13.0. Перед построением модели для устранения влияния инфляции статистические данные были прологарифмированы. Во всех трех случаях (модель сквозной регрессии, модель с фиксированными эффектами, модель со случайными эффектами) модели оказались значимыми, поэтому для определения наиболее подходящей модели были проведены статистические тесты.

Сравнение модели сквозной регрессии и модели с фиксированными эффектами (тест Вальда). При расчетах с помощью пакета STATA тест Вальда производится вместе с построением модели с фиксированными эффектами: $prob > F = 0$ и

p -значение $< 0,01$, значит, основная гипотеза о равенстве нулю всех индивидуальных эффектов отвергается. В этом случае выбирается модель с фиксированными эффектами.

Сравнение модели сквозной регрессии и модели со случайными эффектами (тест Бройша – Пагана). Так как $prob > \chi^2 = 0$ и p -уровень $< 0,01$, основная гипотеза о равенстве нулю дисперсии случайных эффектов отвергается. Значит, модель со случайными эффектами подходит лучше модели со сквозной регрессией.

Сравнение модели со случайными и фиксированными эффектами (тест Хаусмана). Так как $prob > \chi^2 = 0$ и p -значение $< 0,01$, то основная гипотеза отвергается и в данном случае наиболее подходящей моделью является модель с фиксированными эффектами.

Обобщенные результаты построения моделей и статистических тестов представлены в табл. 2.

После проведения статистических тестов было отдано предпочтение модели с фиксированными эффектами. Этому результата можно было ожидать, так как для исследования были выбраны 79 стран, у которых за некоторый период времени объем выбросов CO_2 был ненулевым. Модель с фиксированными эффектами хорошо подходит для случая, когда количество объектов достаточно велико. В результате были получены значения коэффициентов регрессии (табл. 3). После проведения расчетов рассматривались такие регрессоры, как численность населения, ВВП, добыча нефти. При построении модели по панельным данным отдано предпочтение модели с фиксированными эффектами. С учетом того, что для исследования были взяты прологарифмированные данные, коэффициенты можно интерпретировать следующим образом:

- увеличение численности населения на 1% ведет к увеличению выбросов углекислого газа на 0,94%. Данный результат является ожидаемым, так как CO_2 попадает в атмосферу в основном в результате человеческой деятельности, и чем выше численность населения, тем больше ресурсов оно потребляет, тем выше уровень выбросов;
- повышение ВВП на 1% ведет к увеличению уровня выбросов на 0,2%. Данный результат также является ожидаемым, поскольку ВВП характеризует уровень экономического развития страны. При росте объемов производства, ускорении экономического роста происходит ухудшение условий окружающей среды. В существующих исследованиях на данную тему в основном рассматриваются конкретные группы стран, например, БРИКС, европейские или африканские страны. Для разных групп получаются разные результаты. В работе [9] было установлено, что рост ВВП в европейских странах на 1% влечет увеличение выбросов на 0,027–0,97%;

- рост производства нефти на 1% влечет увеличение выбросов углекислого газа на 0,03%. Результат отличается от ожидаемого, так как одним из путей по достижению углеродной нейтральности принято считать сокращение нефтедобычи. Такой результат был получен в связи с тем, что в большей степени выбросы связаны именно с потреблением различных ресурсов. Происходит естественный прирост населения, улучшение качества его жизни, а значит, растут запросы и потребности. К примеру, в Канаде за 2019 г. было добыто 264 млн т нефти, а выбросы CO₂ составили 578 млн т, когда как, например, в Германии, где нефть не добывают, выбросы составили 682 млн т.

Можно констатировать, что есть большие перспективы для дальнейших исследований. Во-первых, существует огромное количество других переменных, которые могут оказывать влияние на выбросы, например, уровень образования, торговли, финансового развития. Во-вторых, располагая данными о странах с наибольшим уровнем выбросов, интересно было бы изучить факторы именно для этих стран, чтобы сформулировать рекомендации по снижению выбросов. Многие страны применяют меры по снижению выбросов. К примеру, Европейский союз около 30 лет применяет политику углеродных налогов, а США снова стали участниками Парижского соглашения, а также разработали систему субсидий, компенсирующих плату углеродного налога. Китай при этом выступает против подобных мер, но в 2021 г. запустил систему торговли углеродными квотами, а доля возобновляемой энергетики в Китае составляет 43% от мировой. Также планируется сокращение выбросов на 65% от уровня 2005 г. к 2030 г. и достижение углеродной нейтральности к 2060 г. В России также наблюдается рост активности в разработке мер климатического регулирования. В 2019 г. Россия присоединилась к Парижскому соглашению и обязалась сократить к 2030 г. выбросы парниковых газов на 25% от уровня 1990 г. Также в 2021 г. был подготовлен проект стратегии социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. Реализация целевого сценария позволит обеспечить рост экономики при уменьшении выбросов и снижение эмиссии на 60% от уровня 2019 г. к 2050 г., а также достичь углеродной нейтральности к 2060 г.³ Кроме того, планируется запуск системы обязательной углеродной отчетности для предприятий.

Нами были проанализированы различные факторы, оказывающие влияние на зависимую переменную – количество выбросов углекислого газа. После проведения корреляционного анализа и исключения мультиколлинеарных факторов в дальнейшем рассматривались такие регрессоры как численность населения, ВВП, добыча нефти. По результатам исследования установлено влияние выбранных регрессоров на зависимую переменную, сделаны выводы о том, что при подтвержденной гипотезе влияния роста объемов производства на уровень выбросов странам с высоким уровнем производства следует переходить на более

³ Колпаков А.Ю. Стратегия социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года: параметры и влияние санкций. URL: <https://doi.org/10.36264/978-5-89665-367-7-2022-005/23-180>

экологичные виды производств. Несмотря на то, что проблему большого количества выбросов углекислого газа невозможно решить полностью, ее можно регулировать и всевозможными способами стремиться к снижению уровня выбросов. Добиться снижения уровня выбросов можно, например, за счет введения политики «зеленого кредитования». В статье [10], было выявлено позитивное влияние политики «зеленого кредита» на развитие экологичных компаний и на сдерживание роста компаний, сильно загрязняющих окружающую среду, а также снижение интенсивности выбросов диоксида углерода. Другим способом снижения уровня выбросов углекислого газа может стать, например, использование схемы торговли квотами на выбросы (ETS). Китайские исследователи пришли к выводу, что использование схемы торговли квотами снижает потребление энергии на 22,8%, а уровень выбросов углекислого газа – на 15,5% [11, 12].

В России тоже существуют аналогичные проекты. К примеру, в Сахалинской области впервые в России стартовал проект по достижению углеродной нейтральности. Он продлится до 31 декабря 2028 г. В рамках проекта тестируется механизм квотирования выбросов, при превышении которых взимается дополнительная плата. Также «РЖД» стали первой российской компанией, впервые запустившей в 2019 г. «зеленые» облигации для внешнего рынка [13]. Исследование факторов, влияющих на уровень выбросов углекислого газа имеет большую практическую значимость для планеты и человечества в целом. К примеру, это может помочь в разработке более эффективных стратегий для снижения выбросов и борьбы с изменением климата, повышения энергетической эффективности компаний. Неоспоримые плюсы – создание новых рабочих мест в сфере экологии, улучшение качества жизни населения, имиджа компаний и государств, что может привести к повышению их конкурентоспособности на мировом рынке, повышение осведомленности общества о проблемах изменения климата и принятие соответствующих мер.

Таблица 1

Факторы для построения модели панельных данных

Table 1

Factors for building a panel data model

Группы факторов	Факторы
Экономические	ВВП страны. ВВП на душу населения. Численность населения. ВВП по ППС на душу населения в долларах в 2017 г.
Энергетические	Потребление возобновляемой энергии. Выработка электроэнергии
Отраслевые	Потребление нефти. Добыча нефти. Потребление угля. Добыча угля. Сельскохозяйственные угодья

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 2**Результаты построения модели панельных данных****Table 2****Results of building a panel data model**

Показатель	Модель сквозной регрессии	Модель с фиксированными эффектами	Модель со случайными эффектами
Коэффициент при переменной «численность населения»	0,325	0,94	0,779
Коэффициент при переменной «ВВП»	0,465	0,208	0,247
Коэффициент при переменной «добыча нефти»	0,133	0,03	0,027
Коэффициент детерминации <i>R-squared</i>	0,8284	0,76	0,7575
Тест Вальда	–	Тест позволяет выбрать между моделью сквозной регрессии и с фиксированными эффектами: $prob > F = 0$, $p-value < 0,01$, значит, основная гипотеза о равенстве нулю всех индивидуальных эффектов отвергается, и лучше выбрать модель с фиксированными эффектами	–
Тест Хаусмана	–	Тест позволяет выбрать между моделью со случайными эффектами и с фиксированными: $prob > chi2 = 0$ и $p-value < 0$, основная гипотеза о случайности эффектов отвергается и выбирается модель с фиксированными эффектами	–
Тест Бройша – Пагана	–	–	Тест позволяет выбрать между моделью сквозной регрессии и моделью со случайными эффектами: $prob > chibar2 = 0$ и $p-value < 0,01$, основная гипотеза о равенстве нулю дисперсии случайных эффектов отвергается, и делается выбор в пользу модели со случайными эффектами

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 3**Значения коэффициентов регрессии****Table 3****Values of regression coefficients**

Фактор	Коэффициент
Численность населения	0,94
ВВП	0,2
Добыча нефти	0,03

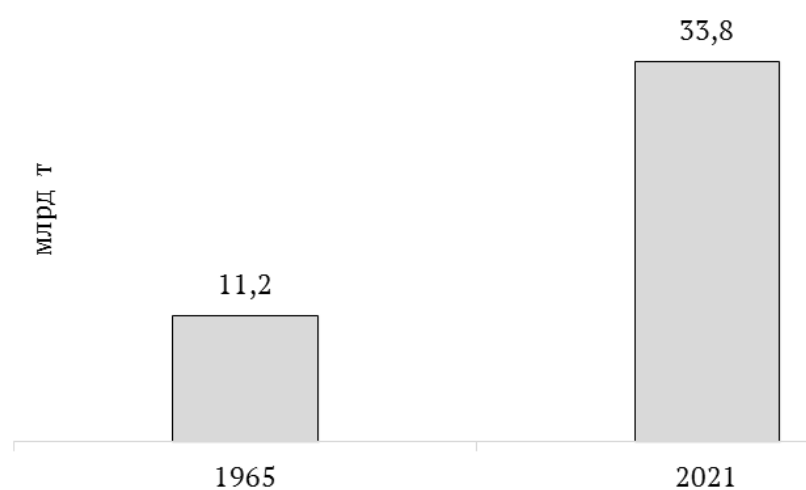
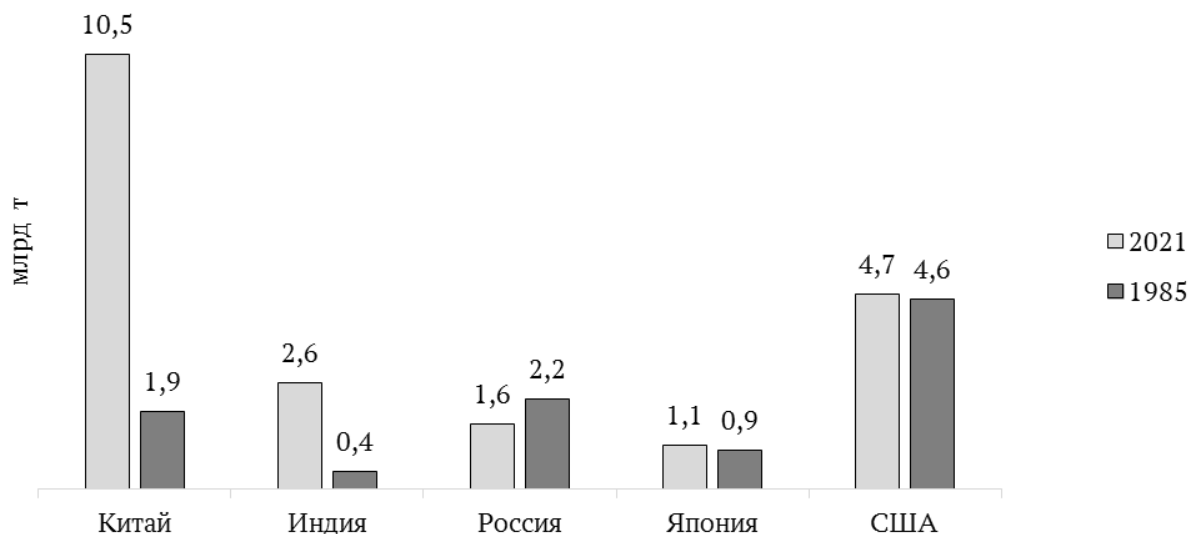
Источник: авторская разработка*Source:* Authoring**Рисунок 1****Выбросы углекислого газа в мире в 1965 и 2021 гг.****Figure 1****Global carbon dioxide emissions in 1965 and 2021***Источник:* Energy Outlook. URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html?ysclid=lm7j39bzen277393400>*Source:* Energy Outlook. URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html?ysclid=lm7j39bzen277393400>

Рисунок 2**Объем выбросов CO₂ в 1985 и 2021 гг. в некоторых странах мира****Figure 2****The volume of CO₂ emissions in 1985 and 2021 in some countries of the world**

Источник: Energy Outlook. URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html?ysclid=lm7j39bzen277393400>

Source: Energy Outlook. URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html?ysclid=lm7j39bzen277393400>

Список литературы

1. Fokina V.V., Tsikaridze R.I., Dudareva A.D., Borisenko G.A. Analysis of life satisfaction of the older population in Russia based on the RLMS-HSE microdata. *Population and Economics*, 2020, vol. 4, iss. 3, pp. 57–74.
URL: <https://doi.org/10.3897/popecon.4.e56156>
2. Максимова А.А., Николаева Н.В., Салий С.А., Семина И.С. Оценка влияния экономических и институциональных факторов на выбросы CO₂ // Научные исследования экономического факультета. Электронный журнал. 2020. Т. 12. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-ekonomicheskikh-i-institutsionalnyh-faktorov-na-vybrosy-co2?ysclid=lm7nybjoho793182722>
3. Балаш В.А., Балаш О.С., Харламов А.В. Эконометрический анализ геокодированных данных о ценах на жилую недвижимость // Прикладная эконометрика. 2011. № 2. С. 62–77.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonometricheskiy-analiz-geokodirovannyh-dannyh-o-tsenah-na-zhiluyu-nedvizhimost?ysclid=lm7o1f3pmn648618434>
4. Тулунов А.С., Тутков И.А. Устойчивое развитие ПАО «Газпром»: практика применения ESG-модели в производстве и экспорте сжиженного газа // Проблемы рыночной экономики. 2022. № 1.
URL: <https://doi.org/10.33051/2500-2325-2022-1-98-126>
5. Ростовская Т.К., Шабунова А.А., Багирова А.П. Концепция корпоративной демографической политики российских организаций в контексте социальной

- ответственности бизнеса // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2021. Т. 14. № 5. С. 151–164.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontsepsiya-korporativnoy-demograficheskoy-politiki-rossiyskih-organizatsiy-v-kontekste-sotsialnoy-otvetstvennosti-biznesa?ysclid=lm7o8mht9x251571153>
6. Невежин В.П., Шуварилов М.Д. Исследование факторов, влияющих на выбросы углекислого газа // Управленческий учет. 2022. № 3-3. С. 618–625.
URL: <https://doi.org/10.25806/uu3-32022618-625>
 7. Friedl B., Getzner M. Determinants of CO₂ emissions in a small open economy. *Ecological Economics*, 2003, vol. 45, iss. 1, pp. 133–148.
URL: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00008-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00008-9)
 8. Meangbua O., Dhakal S., Kuwornu J.K.M. Factors influencing energy requirements and CO₂ emissions of households in Thailand: A panel data analysis. *Energy Policy*, 2019, vol. 129, pp. 521–531. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.02.050>
 9. Al-Mulali U., Ozturk I., Lean H. The influence of economic growth, urbanization, trade openness, financial development, and renewable energy on pollution in Europe. *Natural Hazards*, 2015, vol. 79, pp. 621–644.
URL: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1865-9>
 10. Shouyu Yao, Yuying Pan, Sensoy A. et al. Green credit policy and firm performance: What we learn from China. *Energy Economics*, 2021, vol. 101, no. 105415.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105415>
 11. Yucai Hu, Ren Shenggang, Yangjie Wang, Xiaohong Chen. Can carbon emission trading scheme achieve energy conservation and emission reduction? Evidence from the industrial sector in China. *Energy Economics*, 2020, vol. 85, no. 104590.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104590>
 12. Minami Kito. Impact of aircraft lifetime change on lifecycle CO₂ emissions and costs in Japan. *Ecological Economics*, 2021, vol. 188, no. 107104.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107104>
 13. Юманова Н.Н., Болгов М.А. Развитие рынка «зеленых» облигаций в России // Russian Economic Bulletin. 2021. Т. 4. № 1.
URL: <https://dgpu-journals.ru/wp-content/uploads/2021/03/reb-tom-4-1-2021.pdf>

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

pISSN 2073-039X
eISSN 2311-8725

Integrated Economic-Socio-Ecological Analysis

ASSESSMENT OF FACTORS AFFECTING THE LEVEL OF CARBON DIOXIDE EMISSIONS

Irina V. FILIMONOVA ^{a,*},

Irina V. PROVORNAYA ^b,

Valeriya G. LEONT'EVA ^c

^a Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics,
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS),
Novosibirsk, Russian Federation
filimonova@list.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4447-6425>

^b Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics,
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (IPGG SB RAS),
Novosibirsk, Russian Federation
provornayaiv@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6581-2921>

^c Novosibirsk State University (NSU),
Novosibirsk, Russian Federation
v.leonteva@g.nsu.ru
ORCID: not available

* Corresponding author

Article history:

Article No. 355/2023
Received 31 July 2023
Received in revised form
15 August 2023
Accepted 30 August 2023
Available online
30 October 2023

JEL classification: C23,
O13, Q52

Keywords: carbon
dioxide emission,
factor, panel data

Abstract

Subject. Climate change worries not only environmentalists fighting for the preservation of glaciers and biodiversity on the planet, but also economists, since social development is one of the components of the economic development of the whole society. It is highly advisable to conduct a comprehensive analysis of the impact of various factors on the country's climate policy and its actions to reduce carbon dioxide emissions.

Objectives. The study aims to assess the impact of various factors on the level of CO₂ emissions.

Methods. We performed a regression analysis based on panel data. With the help of correlation analysis, we selected factors, according to which we built three regression models. After statistical tests (the Wald, Breusch-Pagan, and Hausman tests), we chose a model with fixed effects. The model is well suited, since we considered a specific set of 79 countries with non-zero carbon dioxide emissions in a certain period of time. The statistical database was built on data from 1965 to 2021.

Results. The constructed model demonstrated that Resource consumption is the largest contributor to carbon dioxide emissions. Other significant factors affecting the level of CO₂ emissions are GDP and population.

Conclusions. The findings can help in the development of more effective strategies for reducing emissions, combating climate change, and improving the energy efficiency of companies.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2023

Please cite this article as: Filimonova I.V., Provornaya I.V., Leont'eva V.G. Assessment of Factors Affecting the Level of Carbon Dioxide Emissions. *Economic Analysis: Theory and Practice*, 2023, vol. 22, iss. 10, pp. 1888–1905.
<https://doi.org/10.24891/ea.22.10.1888>

Acknowledgments

The article was supported by the Russian Science Foundation (RSF), grant № 22-18-00424.

References

1. Fokina V.V., Tsikaridze R.I., Dudareva A.D., Borisenko G.A. Analysis of life satisfaction of the older population in Russia based on the RLMS-HSE microdata. *Population and Economics*, 2020, vol. 4, iss. 3, pp. 57–74.
URL: <https://doi.org/10.3897/popecon.4.e56156>
2. Maksimova A.A., Nikolaeva N.V., Salii S.A., Semina I.S. [Assessing the impact of economic and institutional factors on CO₂ emissions]. *Nauchnye issledovaniya ekonomicheskogo fakul'teta. Elektronnyi zhurnal*, 2020, vol. 12, no. 1. (In Russ.)
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-ekonomicheskikh-i-institutsionalnykh-faktorov-na-vybrosy-co2?ysclid=lm7nybjoho793182722>
3. Balash V.A., Balash O.S., Kharlamov A.V. [Econometric analysis of geocoded data on residential real estate prices]. *Prikladnaya ekonometrika = Applied Econometrics*, 2011, no. 2, pp. 62–77. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonometricheskiiy-analiz-geokodirovannykh-dannykh-o-tsenakh-na-zhiluyu-nedvizhimost?ysclid=lm7o1f3pmn648618434> (In Russ.)
4. Tulupov A.S., Titkov I.A. [Sustainable development of PJSC "Gazprom": Practical application of ESG-model in production and export of liquefied gas]. *Problemy rynochnoi ekonomiki*, 2022, no. 1. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.33051/2500-2325-2022-1-98-126>
5. Rostovskaya T.K., Shabunova A.A., Bagirova A.P. [The concept for corporate demographic policy of Russian enterprises in the framework of corporate social responsibility]. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz = Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 2021, vol. 14, no. 5, pp. 151–164. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-korporativnoy-demograficheskoy-politiki-rossiyskikh-organizatsiy-v-kontekste-sotsialnoy-otvetstvennosti-biznesa?ysclid=lm7o8mht9x251571153> (In Russ.)
6. Nevezhin V.P., Shuvarikov M.D. [Study of factors affecting carbon dioxide emissions]. *Upravlencheskii uchet = Management Accounting*, 2022, no. 3-3, pp. 618–625. (In Russ.) URL: <https://doi.org/10.25806/uu3-32022618-625>
7. Friedl B., Getzner M. Determinants of CO₂ emissions in a small open economy. *Ecological Economics*, 2003, vol. 45, iss. 1, pp. 133–148.
URL: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00008-9](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00008-9)

8. Meangbua O., Dhakal S., Kuwornu J.K.M. Factors influencing energy requirements and CO₂ emissions of households in Thailand: A panel data analysis. *Energy Policy*, 2019, vol. 129, pp. 521–531. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.02.050>
9. Al-Mulali U., Ozturk I., Lean H. The influence of economic growth, urbanization, trade openness, financial development, and renewable energy on pollution in Europe. *Natural Hazards*, 2015, vol. 79, pp. 621–644.
URL: <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1865-9>
10. Shouyu Yao, Yuying Pan, Sensoy A. et al. Green credit policy and firm performance: What we learn from China. *Energy Economics*, 2021, vol. 101, no. 105415.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105415>
11. Yucai Hu, Ren Shenggang, Yangjie Wang, Xiaohong Chen. Can carbon emission trading scheme achieve energy conservation and emission reduction? Evidence from the industrial sector in China. *Energy Economics*, 2020, vol. 85, no. 104590.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104590>
12. Minami Kito. Impact of aircraft lifetime change on lifecycle CO₂ emissions and costs in Japan. *Ecological Economics*, 2021, vol. 188, no. 107104.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107104>
13. Yumanova N.N., Bolgov M.A. [Development of the “green” bond market in Russia]. *Russian Economic Bulletin*, 2021, vol. 4, no. 1. (In Russ.)
URL: <https://dgpu-journals.ru/wp-content/uploads/2021/03/reb-tom-4-1-2021.pdf>

Conflict-of-interest notification

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.